

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 07-270137

(43)Date of publication of application : 20.10.1995

(51)Int.Cl. G01B 11/24
B25J 19/04
G01B 11/00
G01C 3/06

(21)Application number : 06-312401

(71)Applicant : FANUC LTD

(22)Date of filing : 24.11.1994

(72)Inventor : SAKAKIBARA SHINSUKE
YAMADA SHIN

(30)Priority

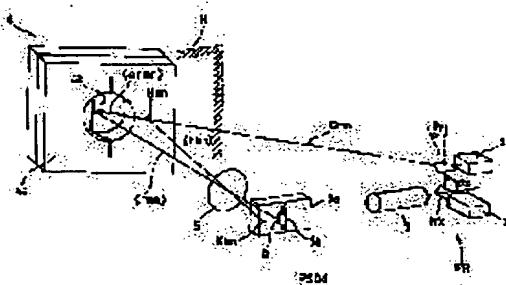
Priority number : 06 36390 Priority date : 10.02.1994 Priority country : JP

(54) SPOT LIGHT SCAN TYPE THREE-DIMENSIONAL VISION SENSOR

(57)Abstract:

PURPOSE: To enable efficient detection, in real time, of a feature part of the outline of a subject such as the rim part of a concave part or a convex part and an ridge line thereof with possible speeding up of processing time and excellent economy.

CONSTITUTION: Numeral 1 indicates a laser as a spot light source, 2 and 3 an X scanner and a Y scanner and these composes a projector of a spot light beam. The X scanner 2 and the Y scanner 3 are provided with deflection mirrors MX and MY respectively and a spot light beam G is projected toward the directions corresponding to angles x and y of the deflection thereof. A PSD 6 is arranged at a proper distance from the projector to detect a spot P formed on work 4 as subject through a lens thereof. An output of the PSD 6 and linear/quadratic differential data are obtained making the spot light beam G scan fast continuously. This enables the detection of the rim part of a concave part 4b together with the data indicating the direction of projecting the spot light beam G thereby allowing the acquiring of a three-dimensional position data handily.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Best Available Copy

Available Copy

(19)日本国特許庁 (JP)

(12)公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平7-270137

(43)公開日 平成7年(1995)10月20日

(51)Int.Cl. ⁶	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
G01B 11/24	C			
B25J 19/04	D			
G01B 11/00	B			
	E			
G01C 3/06	A			

審査請求 未請求 請求項の数 3 FD (全19頁)

(21)出願番号	特願平6-312401
(22)出願日	平成6年(1994)11月24日
(31)優先権主張番号	特願平6-36390
(32)優先日	平6(1994)2月10日
(33)優先権主張国	日本(JP)

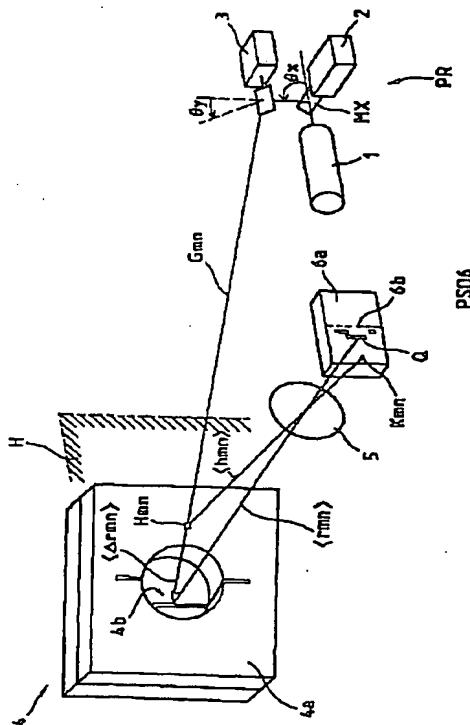
(71)出願人	390008235 ファナック株式会社 山梨県南都留郡忍野村忍草字古馬場358 0番地
(72)発明者	△榎▽原 伸介 山梨県南都留郡忍野村忍草字古馬場358 0番地 ファナック株式会社内
(72)発明者	山田 慎 山梨県南都留郡忍野村忍草字古馬場358 0番地 ファナック株式会社内
(74)代理人	弁理士 竹本 松司 (外4名)

(54)【発明の名称】スポット光走査型3次元視覚センサ

(57)【要約】

【目的】処理時間の高速化が可能で経済性にも優れ、被計測対象物の稜線部、凹部や凸部の縁部など被計測対象物の外形の特徴部分を実時間で効率的に検出し得る3次元視覚センサの提供。

【構成】1はスポット光光源としてのレーザ、2,3は各々Xスキャナ、Yスキャナであり、これらはスポット光ビームのプロジェクタを構成する。Xスキャナ2、Yスキャナ3は各々偏向ミラーMX、MYを備え、その偏向角 θ_x 、 θ_y に応じた方向に向けてスポット光ビームGを投射する。PSD6はプロジェクタと適宜の距離をおいて配置され、そのレンズ5を介して被計測対象物となるワーク4上に形成されるスポットPを検出する。スポット光ビームGを連続的に高速走査しながら、PSD6の出力、その1次/2次微分データを得れば、スポット光ビームGの投射方向を表わすデータと併せ、凹部4bの縁部の検出、その3次元位置データを簡便に取得することが出来る。



【特許請求の範囲】

【請求項1】投射方向を2次元的にランダムスキャン制御し得るスポット光ビーム投射手段と、該スポット光ビームが被計測対象物に入射した位置に形成されるスポット状輝点を検出する1次元位置検出型光検出手段と、前記スポット光ビームの投射方向と前記位置検出型光検出手段の検出出力に基づいて前記被計測対象物上に形成された前記スポット状輝点の位置を決定する手段を備えたスポット光走査型3次元視覚センサ。

【請求項2】投射方向を2次元的にランダムスキャン制御し得るスポット光ビーム投射手段と、該スポット光ビームが被計測対象物に入射した位置に形成されるスポット状輝点を検出する1次元位置検出型光検出手段と、前記スポット光ビームの投射方向と前記1次元位置検出型光検出手段の検出出力に基づいて前記被計測対象物上に形成された前記スポット状輝点の位置を決定する手段と、

前記スポット光ビームの投射方向を連続的に変化させた時に得られる前記1次元位置検出型光検出手段の検出出力の変化に基づいて被計測対象物の外形特徴部を検出する手段を備えたスポット光走査型3次元視覚センサ。

【請求項3】計測プロセスの途上において、先行して取得された前記位置検出型検出器の検出出力に基づいてそれ以降の前記スポット光ビーム投射方向を変化させるように前記ランダムスキャン制御を行なわせる手段を更に備えた請求項1または請求項2に記載されたスポット光走査型3次元視覚センサ。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、例えばロボットによる機械部品の組立作業のように、ロボットあるいは他の各種FA機器を用いて自動化作業を行う製造ライン等において使用される視覚センサに関し、更に詳しく言えば、スポット光走査ビームを被計測対象物に投射し、被計測対象物上に形成された輝点を1次元位置検出型の検出器(PSD)で観測して被計測対象物の3次元的な位置、姿勢、形状等を計測(以下、単に「3次元計測」という。)する3次元視覚センサに関する。

【0002】

【従来の技術】産業用ロボット、各種FA機器を用いて各種作業を自動化するシステムを構築する場合や、知能ロボットのインテリジェント化を図る場合においては、視覚センサの果たす役割が大きい。特に、ロボットを含むシステムによる作業の自動化において、ワークの位置、姿勢、形状等の計測に視覚センサが多く用いられている。

【0003】このような用途を有する視覚センサは、その機能によって、2次元測定用のものと、3次元測定用のものとに分けられるが、被計測対象物の3次元的な位置、姿勢、形状等を計測する必要がある場合には、後者

の3次元視覚センサが使用される。従来の3次元視覚センサは、一般に、ビデオカメラで捕捉された2次元画像上の点の3次元位置を定める為の手段を備えている。該手段として種々の型のものが提案されているが、その多くは三角測量の原理を応用したもので、中でもスリット状の光を対象物に所定の方向から投射し、対象物上に周辺よりも高輝度の光帯を形成させ、これをビデオカメラで観測して対象物の3次元計測を行なうものが代表的である。

【0004】このようなスリット光投射方式の3次元視覚センサは、計測範囲が狭くなり易く、被計測対象物の存在位置にばらつきがある場合には、スリット光を走査する為の光学系が必要なことや、設定されたスリット光によって形成される光帯と平行な方向に延在するエッジ部分の計測を行なう為にはスリットの方向が互いに異なる2台の投光器とその制御機構を設ける必要が生じる等の問題があった。

【0005】更に、従来技術においては、スリット光束を生成する手段として円柱レンズ(シリンドリカルレンズ)を用いることが通常であり、投光器と被計測対象物の間の距離や被計測対象物の大小に応じてスリット光束のサイズを変更する為には、円柱レンズを交換しなければならず、極めて不便であった。また、遠方に置かれた比較的大寸法の被計測対象物にスリット光を投射する為にレーザ光源からの光を大きく拡張してスリット光束を形成した場合には、投射される光帯の照度が低下することが避けられない。

【0006】そこで、本出願人はこれらの問題点を回避する為に、旧来用いられていたスリット光に代えてスポットビームで被計測対象物を走査して対象物の被計測部分を横切る光帯を形成しながらこれをビデオカメラで観測し、得られた画像を画像処理装置を用いて解析することによって対象物の3次元位置情報を得る方式の3次元視覚センサに係る発明を出願している(特願平5-32407号)。

【0007】この方式によれば、スポット光ビームを高速偏向走査する手段を有する投光装置によって3次元計測に必要な光投射が行われるので、被計測対象物の遠近、大小、存在方向、形状、最終的に必要な3次元情報の内容、精度等に自在に適応した光帯を形成することが可能となると共に、光源の発する光量を3次元計測に有用な部分に集中させて明るい光帯を形成させた条件下でビデオカメラによる観測を行うことが可能となるから、作業効率と測定精度に優れた3次元計測が実現される等の長所がある。

【0008】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、上記スリット光を投射する旧来型あるいはスポット光走査型の3次元視覚センサのいずれにおいても、対象物上に形成される光帯をCCDアレイ等を備えたカメラで2次元画

像として取り込み、これを連続的な1次元アナログ信号に変換した後、画像処理装置に転送して2次元信号への再変換とデジタル信号化を行なった上で、フレームメモリに蓄えて画像処理を実行するという形がとられるので、膨大な記憶容量を有するフレームメモリが必要とされる。

【0009】また、画像の転送、変換、メモリへの書き込み／読み出等に時間を要する為、画像処理自体のアルゴリズムに相当する部分を高速化することが出来たとしても、全体の処理時間を短縮することには限界が生じていた。更に、画像処理自体についても、汎用のプロセッサを使用してフレームメモリ内に蓄えられた画像データを処理する為にメモリアクセスに時間をとられることも、処理速度に限界を与える要因となる。そして、通常の画像処理においては、変換、転送、デジタル化等の処理を画面全体分の信号に対して行われ、また、画像処理自体も全画面のデータを汎用プロセッサ等で処理することが行なわれているから、対象物についての必要な3次元情報を得る上で不必要的データまで含む膨大な処理を実行していることになり、3次元視覚センサ装置全体が高価となるにも拘らず非効率的であった。

【0010】前記CCDを用いた3次元視覚センサの他に、スポット光ビームによって形成された輝点を観測する位置検出型検出器として2次元位置検出機能を有する位置検出型検出器（2次元PSD）を用いたものや、スポット光ビーム投射手段としてポリゴンミラーを用いた用いたものがある。しかし、前者は装置全体を安価に構成する上で不利である。また、後者にはスポット光ビームの投射方向を2次元的にランダムに制御出来ず、従って、計測途中において先行して得られた検出出力に基づいて以降のスポット光ビームの投射方向を自由に選択するというような制御は実行出来ない。

【0011】本願発明の基本的な目的は、このような従来技術の問題点を克服し、処理時間の高速化が可能で経済性にも優れた3次元視覚センサを提供することにある。更に、本願発明は、被計測対象物の稜線部、凹部や凸部の縁部など被計測対象物の外形の特徴部分を効率的な計測プロセスによって簡単に検出し得る3次元視覚センサを提供することを企図したものである。

【0012】

【課題を解決するための手段】本願発明は、上記目的を達成する為の基本的な構成として、「投射方向を2次元的にランダムスキャン制御し得るスポット光ビーム投射手段と、該スポット光ビームが被計測対象物に入射した位置に形成されるスポット状輝点を検出する1次元位置検出型光検出手段と、前記スポット光ビームの投射方向と前記位置検出型光検出手段の検出出力に基づいて前記被計測対象物上に形成された前記スポット状輝点の位置を決定する手段を備えたスポット光走査型3次元視覚センサ」、を提案したものである。

【0013】また、特に、被計測対象物の稜線部、凹部や凸部の縁部など被計測対象物の外形の特徴部分を簡単に検出し得る構成として、「投射方向を2次元的にランダムスキャン制御し得るスポット光ビーム投射手段と、該スポット光ビームが被計測対象物に入射した位置に形成されるスポット状輝点を検出する1次元位置検出型光検出手段と、前記スポット光ビームの投射方向と前記1次元位置検出型光検出手段の検出出力に基づいて前記被計測対象物上に形成された前記スポット状輝点の位置を決定する手段と、前記スポット光ビームの投射方向を連続的に変化させた時に得られる前記1次元位置検出型光検出手段の検出出力の変化に基づいて被計測対象物の外形特徴部を検出する手段を備えたスポット光走査型3次元視覚センサ」、を併せて提案したものである。

【0014】更に、計測プロセスの途上において、先行して得られた検出出力に基づいて以降のスポット光ビームの投射方向を自由に選択し、計測プロセス全体をより効率化することを可能にするために、「計測プロセスの途上において、先行して取得された前記位置検出型検出器の検出出力に基づいて、それ以降の前記スポット光ビーム投射方向を変化させるように前記ランダムスキャン制御を行なわせる手段を更に備えている」、と言う要件を上記各構成に課したものである。

【0015】

【作用】本願発明の3次元視覚センサは、投光方向を2次元的なランダムスキャン制御により高速で自由に変えることの出来るスポット光投射手段と1次元位置検出機能を有する位置検出型の検出器（PSD；Position Sensing Detectorの略称。以下、この略称を使用する。）を利用した光学式変位センサに相当する手段を組み合わせて計測系を構成することにより、被計測対象物の遠近、大きさ、形状や必要とする3次元位置情報に応じた自在な計測をより効率的に行えるようにしたものである。

【0016】スポット光投射手段によって被計測対象物上に形成されたスポット状の輝点はPSDの検出面上に投影される。投影された輝点像の位置（一般には、重心位置）が簡単な電気的な出力で取り出される。従って、スポット光投射手段からのスポット光ビームの投光方向を2次元的なランダムスキャン制御により高速で変化させた時、輝点像の位置の変化を連続的に変化する信号として取り出し、これを実時間的に処理することが可能である。

【0017】この特徴を生かし、スポット光ビームの投光方向を2次元的に高速で変化させながらPSDの検出出力の変化（例えば、検出出力レベルの不連続な変化）に基づいて、被計測対象物の外形特徴部（凹部、凸部、稜線部等）を実時間で高速に検出することが出来る。このような特徴は、検出面上の輝点像の位置を求めるために画像処理を要したCCDアレイを用いた従来方式では

事実上期待し得ないものである。

【0018】ここで、本願発明の原理の理解を容易にするために、レーザ変位センサの基本的な構成と計測原理について、図1を参照して説明しておく。同図を参照すると、符号1はスポット光光源としてのLD(半導体レーザ)で、その出射光はコリメータレンズ2で平行化され、更に集光レンズ3によりビーム径が絞られて、被計測対象物4上にスポット光として投射される。この投射スポット光像をレンズ5を介して1次元的な位置検出機能を有するPSD(位置検出型光検出器)6の検出面上に検出スポット像として入射させる。被計測対象物4の位置が入射光の光軸Gに沿って変位(P→P')すると、検出スポット像もPSD上で移動する(Q→Q')。

【0019】1次元的な位置検出機能を有するPSD6は、スポット光の入射位置に応じて2つの電流出力I1、I2のを生成するもので、 $I_{12} = (I_1 - I_2) / (I_1 + I_2)$ がPSD上で入射位置を表わす基本式である。各電流出力I1、I2を電流電圧変換回路7で電圧V1、V2に変換し、演算回路8により演算 $\Delta I_{12} = (V_1 - V_2) / (V_1 + V_2)$ を行えば、光軸G上における検出スポット光(輝点)の位置が判り、それに基づいて被計測対象物4の3次元位置(投射スポット光によって形成された輝点の3次元位置)を求めることが出来る。適当なキャリブレーションを実行しておけば、光軸G上の基準点を原点とする位置データが求められる。

【0020】なお、符号10は、LD1の出力光強度をモニタする為にLD1に付属装備されたモニタ光検出器で、その出力に基づいてコントローラ11を介して光源駆動回路12が制御され、LD1の出力光強度が一定に保たれる。

【0021】以上がレーザ変位センサの基本的な構成と計測原理であるが、ここでLD1の入射ビームを偏向走査可能なものとすれば、被計測対象物上においてスポット光が形成される位置が3次元的に移動し、それに応じてPSD上のスポット像入射位置が2次元的に変化する。従って、入射ビームの偏向走査状態を表わす量(例えば、偏向ミラーの偏向角)とPSDへのスポット像入射位置検出結果に基づいて、被計測対象物上におけるスポット光形成位置を求めることが可能になる。以下、これを具体的に説明する。

【0022】図2は、上記原理に従って3次元計測を行なう為の基本配置を例示したものであり、各要素の符号は図1に準じて付されている。図中、1はスポット光光源としてのレーザ、2、3は各々Xスキャナ、Yスキャナであり、これらはスポット光ビームのプロジェクタPRを構成している。Xスキャナ2、Yスキャナ3は各々

$$\theta_{x0} = \theta_{x0} + m \Delta \theta_x$$

$$\theta_{y0} = \theta_{y0} + n \Delta \theta_y$$

ここで、 θ_{x0} 、 θ_{y0} は、各偏向ミラーMX、MYの最小

偏向ミラーMX、MYを備えており、その偏向角 θ_x 、 θ_y に応じた方向に向けてスポット光ビームGを投射する。

【0023】一方、PSD6はプロジェクタPRと適宜の距離をおいて配置され、そのレンズ5を介して被計測対象物4上に形成されるスポット状輝点(以下、単に「輝点」と言う。)Pを検出する。ここで、PSD6のレンズ乃至レンズ系(以下、単にレンズと言う。)5の光心を原点Oとし、X軸方向をレーザ1からのレーザビーム出射方向にとり、Z軸方向をPSD6の光軸に一致させた座標系Σを定義し、偏向ミラーMX、MYの回転軸の方向を図示した通り、Z軸及びX軸方向に平行に設定するものとする。

【0024】また、PSD6として1次元的な位置検出機能を有するものを使用し、検出面6a上の基準線位置6bから測った検出点QのX軸方向成分qの関数で検出出力が得られるようにその姿勢を定めるものとする。

【0025】そして、レンズ5に関するPSD6の検出面6aのイメージプレーンH(検出面6aのレンズ5による像形成面)がX'Y'平面と一致し、原点O'が座標系ΣのZ軸上に乗るように座標系Σ'を定義する。PSD6は、被計測対象物4の検出対象面がこのイメージプレーンHの近辺(レンズ5による輝点Pの像が検出面6b上でぼけない範囲、一般的にはレンズ5の焦点深度の範囲内)に来るよう配置される。図では、被計測対象物4のプロジェクタPRに対向する面4aの手前側にイメージプレーンH(X'Y'平面)がある状態が描かれている。

【0026】プロジェクタPR、被計測対象物4、PSD6及び座標系Σ、Σ'に以上の関係を想定した場合、各偏向ミラーMX、MYの配置位置等を含むプロジェクタの装置定数と各偏向角 θ_x 、 θ_y によってスポット光ビームGを表現する直線の方程式が決まり、輝点Pの位置は被計測対象物4の面4aと直線Gの交点として与えられることになる。座標系Σ上における輝点Pの位置ベクトルを<r>で表わすこととする。

【0027】各偏向ミラーMX、MYの偏向角 θ_x 、 θ_y を、次式(1)、(2)で表わされるように、各々微小角 $\Delta \theta_x$ 及び $\Delta \theta_y$ を最小単位としてセット値(m、n;但し、m、nは0または正整数)を指定する形でディスクリートに制御することを考えると、このセット値(m、n)に応じてスポット光ビームGを表わす方程式が一意的に決まり、これに対応するイメージプレーンHとの交点位置Hmnも決定されることになる。座標系Σ上における点Hmnの位置ベクトルを<hm>で表わすこととする。

【0028】

$$\dots (1)$$

$$\dots (2)$$

50 偏向角度である。各偏向ミラーMX、MYの偏向角を指

定するセット値 (m, n) の集合を考えると、この集合に対してほぼ格子状に並ぶ交点位置 H_{mn} の集合が 1 対 1 で対応する。従って、スポット光ビーム G の投射状態 (G_{mn}) をこのイメージプレーン H 上の交点位置 H_{mn} で代表させることが出来る。ここで、交点 H_{mn} に対応する検出面 6 a 上の検出点を K_{mn} とし、 K_{mn} に対する q 値 (基準線 6 b からの符号付きの偏差) を k_{mn} とし、点 H_{mn} から P へ向かうベクトルを $\langle \Delta r_{mn} \rangle$ で表わした場合、

$$\Delta q_{mn} = q - k_{mn}$$

と表わされる。そして、直線 G_{mn} 上における点 H_{mn} と点 P の位置の違いを点 H_{mn} から P へ向かうベクトル $\langle \Delta r_{mn} \rangle$ で表わすと、ベクトル $\langle \Delta r_{mn} \rangle$ の方向は (m, n) で決っており (直線 G_{mn} の方向と一致)、向きと大

$$\langle \Delta r_{mn} \rangle = \langle g_{mn} \rangle \times f_{mn} (\Delta q_{mn})$$

$$\langle r \rangle = \langle h_{mn} \rangle + \langle \Delta r_{mn} \rangle$$

$$= \langle h_{mn} \rangle + \langle g_{mn} \rangle \times f_{mn} (\Delta q_{mn})$$

ここで、 $\langle g_{mn} \rangle$ は、スポット光ビームの方向に一致する方向を向いた単位ベクトルである。

【0029】点 H_{mn} の位置を表わす $\langle h_{mn} \rangle$ 、スポット光ビームの方向に一致する方向を向いた単位ベクトル $\langle g_{mn} \rangle$ 及び依存関係 f_{mn} (Δq_{mn}) を具体的に表わすデータは、いずれも視覚センサシステムの設計データあるいは適当なキャリブレーションによって事前に獲得し得るものである。

【0030】従って、これらデータを、すべての m, n 乃至適当な刻みで選択された m, n について、予め 3 次元視覚センサのメモリに用意しておき、必要に応じてこれを読み出して上記 (5) 式に相当する計算を実行すれば、輝点 P の 3 次元位置を求めることが出来る。なお、このようなイメージプレーン H 上の点 H_{mn} を基準にしたデータではなく、偏向角 (θ_x, θ_y) と PSD 6 の検出出力の値から直接的に輝点 P の 3 次元位置を決定するテーブルデータ、計算式等を準備しておく方式を採用することも可能である。

【0031】次に、本願発明の 3 次元視覚センサにおける被計測対象物外形特徴部分 (稜線部、凹部や凸部の縁部など) の検出原理について説明する。図 3 は、被計測対象物の特徴部分 (ここでは、凹部の縁部) を Y 軸方向に沿ってスポット光ビームで走査した場合の PSD 6 の出力変化を概念的に説明したもので、(1) は凹部周辺におけるスポット光ビーム入射位置の推移を断面図で表わしており、(2), (3), (4) は各々その際の PSD 6 の検出出力の推移、1 次微分の推移、2 次微分の推移を表わしている。

【0032】図 3 (1)において、4 は被計測対象物で 4 b は奥行き方向 (Z 軸方向) に形成された凹部である。この凹部が Y 軸方向に継続するように偏向ミラー M Y からスポット光ビームが G1 ~ G5 の走査範囲で走査される場合を考える。スポット光ビームと凹部 4 b が図示された位置関係にあるケースでは、スポット光ビームの偏向方向が G1 → G2 → G3 → G4 → G5 と連続的に

から P へ向かうベクトルを $\langle \Delta r_{mn} \rangle$ で表わした場合、上述したレーザセンサの測距原理から理解されるように、輝点 P に対応する検出面 6 a 上の検出点 Q の X 座標値 q は、直線 G_{mn} 上における点 H_{mn} と点 P の位置の違いに応じて点 K_{mn} の座標値 k_{mn} と異なった値を有することになり、その相違量を Δq_{mn} とすれば、

... (3)

これは Δq_{mn} に依存した PSD 6 の検出出力を決まる。この依存関係を次式 (4) で表せば、下記の (5) が成立する。

... (4)

... (5)

推移した場合のスポット光状輝点位置は、 $P_1 \rightarrow P_2 \rightarrow P_3 \rightarrow P_4 \rightarrow P_5$ と推移する。 $P_2 \rightarrow P_3$ の位置変化は不連続に起る。

【0033】このような推移があった場合の PSD 6 の出力推移は、図 3 (2) に示したようなパターンを描くことになる。即ち、輝点が $P_1 \sim P_2$ 間では、被計測対象物 4 の外形に Z 軸方向の変化が無いことに対応して PSD 出力はほぼ一定値で推移する。しかし、 P_2 から P_3 に輝点位置がジャンプすると、これに対応して PSD 出力が不連続に変化する。 $P_3 \sim P_4$ の間は再び外形に Z 軸方向の変化が無いことに対応して PSD 出力はほぼ一定値で推移し、 $P_4 \sim P_5$ では輝点位置が Z 軸方向に連続的に変化することに対応して、PSD 出力も連続的に変化する。そして、 $P_5 \sim P_6$ 間では、再度被計測対象物 4 の外形に Z 軸方向の変化が無い区間に入り、PSD 出力はほぼ一定値で推移する。

【0034】このような PSD 出力の推移の 1 次微分及び 2 次微分は、図 (3) 及び (4) のようなパターンを有するグラフとなる。これらのグラフから判るように、輝点の奥行き方向位置が不連続に変化する部分では 1 次微分に明確なピークが現れ、輝点の奥行き方向位置の連続的な変化の開始/終了部分では 2 次微分に明確なピークが現れるということである。

【0035】従って、PSD 6 の出力の 1 次微分及び 2 次微分のピークを検出することによって、被計測対象物 4 の 3 次元的な特徴部 (縁部、稜線部など) を検出出来る。1 次微分及び 2 次微分のピーク検出は、近接した 2 点以上における PSD 出力の「差分」及び「差分の差分」を計算し、適当なしきい値と比較することによって実行することが出来る (後述、実施例参照)。

【0036】以上が本願発明のスポット光走査型 3 次元視覚センサにおける 3 次元位置データの取得原理及び外形特徴部分の検出方法であるが、実際の計測にあたっては、被計測対象物の全表面の正確な 3 次元位置データを必要とすることは稀であり、凹凸部の縁部、稜線等の特

微部分についてのみ 3 次元位置データを収集し、それに基づいて被計測対象物の位置や姿勢の計測、形状判定等を行なえば良い場合が殆どである。従って、次に述べる実施例に示したように、プロジェクタによるスポット光ビーム走査の利点を活かし、計測目的に応じて必要な部分を選択的に走査すると共に特に重要な部分（例えば、縁部周辺）については他の部分よりも密な走査を行なって 3 次元位置データを獲得する形態をとることが望ましい。

【 0 0 3 7 】 従来のカメラ手段によって得られた画像データを蓄積してこれを解析する方式ではこのような選択的な情報取得やデータ収集密度の粗密制御は困難であるのに対し、本願発明では投射方向を自在に選択しながら 3 次元位置情報を収集出来るから、選択的な情報取得やデータ収集密度の粗密制御が容易となる。また、収集したデータの記憶／読み出し／演算等の処理に大容量のフレームメモリや高性能の画像処理プロセッサを用意する必要がなく、データ処理時間が短縮されることも本願発明の特徴である。

【 0 0 3 8 】

【実施例】図 4 は、本願発明のスポット光走査型 3 次元視覚センサを円形の凹部 4 b を有するワークの円形凹部中心 4 c の 3 次元位置計測に適用した事例における全体配置を表したものである。同図に示されている 3 次元視覚センサの各構成要素及びスポット光ビーム G_{mn}、輝点 P、イメージプレート上の対応点 H_{mn}、検出点 Q 等についての相互位置関係は、図 2 に示したものと基本的に同じであり、それらに準じた符号が付されている。

【 0 0 3 9 】 即ち、1 はスポット光光源としてのレーザ、2、3 は各々 X スキャナ、Y スキャナであり、これらはスポット光ビームのプロジェクタを構成する。X スキャナ 2、Y スキャナ 3 は各々偏向ミラー MX、MY を備え、その偏向角 θ_x 、 θ_y に応じた方向に向けてスポット光ビーム G を投射する。PSD 6 はプロジェクタと適宜の距離をおいて配置され、そのレンズ 5 を介して本実施例における被計測対象物となるワーク 4 上に形成されるスポット P を検出面 6 a 上で検出する。PSD 6 としては、1 次元的な位置検出機能を有するものを使用し、基準位置 6 a から測った検出点 Q の X 軸方向成分 q に依存した検出出力が得られるようにその配置姿勢が設定されている。

【 0 0 4 0 】 そして、図 2 における描示と同じく、レンズ 5 に関する PSD 6 の検出面 6 a のイメージプレーン H が X' Y' 平面と一致し、原点 O' が座標系 Σ の Z 軸上に乗るように座標系 Σ' が定義されている。ワーク 4 は、凹部 4 b を有する面 4 a がプロジェクタ PR に対向するように配置され、面 4 a の手前側にイメージプレーン H (X' Y' 平面) があるものとする。面 4 a はイメージプレーン H に対してやや傾斜した関係にあるものとする。

【 0 0 4 1 】 図 5 は本願発明の 3 次元視覚センサのシステム構成の 1 例を要部ブロック図で示したものである。システム全体は、図 3 に示したプロジェクタ PR と PSD 6 に加えて主制御装置 20、プロジェクタ PR を制御するプロジェクタ制御装置 30 並びに PSD 6 の検出信号の処理回路を含む PSD 検出信号処理装置 40 から構成されている。

【 0 0 4 2 】 主制御装置 20 は、マイクロプロセッサからなる中央演算処理装置（以下「CPU」と言う。） 2

10 1 を備え、CPU 21 には所要の記憶容量を有する ROM メモリ 22 及び RAM メモリ 23、キーボード 24 及び入出力装置（I/O） 25 が、バス 26 を介して接続されている。また、プロジェクタ制御装置 30 及び PSD 検出信号処理装置 40 にも同様に、所要の処理能力を有する CPU 31、41、所要の記憶容量を有する ROM メモリ、RAM メモリ、入出力装置（I/O）等が装備されている（個別の図示は省略）。

【 0 0 4 3 】 主制御装置 20、プロジェクタ制御装置 30、PSD 検出信号処理装置 40 相互間、プロジェクタ

20 制御装置 30 とプロジェクタ PR 及び PSD 検出信号処理装置 40 と PSD 6 は、各入出力装置を介して接続されており、各装置のメモリに格納されたプログラムに基づくソフトウェア処理の為の指令あるいはデータの授受が行なわれる。

【 0 0 4 4 】 主制御装置 20 のキーボード 24 は、システム各部に必要な設定値やプログラムの記憶・編集・転送、あるいは実行プログラムの指定・起動等を主制御装置 20 の CPU 21 を介して実行する為の指令を入力する為に使用出来る。プロジェクタ PR は、前記（1）、

30 （2）式に連繋して述べたように、偏向ミラー MX 及び MY の偏向角 θ_x 、 θ_y を微小角 $\Delta \theta_x$ 及び $\Delta \theta_y$ 刻みで指定して制御出来るものとする。例えば、前記

（1）、（2）式における走査開始偏向角を $\theta_{x0} = \theta_{y0} = 90^\circ$ に設定し、 $\Delta \theta_x = \Delta \theta_y = 0.1^\circ$ とすれば、 (θ_x, θ_y) の値は、m、n を 0 または任意の正整数 1、2、3 … として、 $(90.0^\circ + m \times 0.1^\circ, 90.0^\circ + n \times 0.1^\circ)$ で表わされる。

【 0 0 4 5 】 本実施例では、主制御装置 20、プロジェクタ制御装置 30 及び PSD 検出信号処理装置 40 にソ

40 フトウェア処理を割り当てて、次の様な疎密／局所繰り返し走査方式によるスポット光ビーム走査を遂行し、円形凹部 4 b の中心位置、半径及び向き（面 4 a の向き）を計測するプロセスについて述べることにする。説明を判り易くする為に、先ず、本実施例における疎密／局所繰り返し走査方式の概要について説明する。

【 0 0 4 6 】 図 6 は本実施例におけるスポット光ビーム G の走査経路全体の概略を示した図である。同図において、4 は被計測対象物で 4 b はその円形凹部である。凹部 4 b は外側縁部 4 c と内側縁部 4 d を有している。P

50 start、P end は指定された偏向ミラー MX、MY の走

査開始／終了偏向角に対応する輝点位置である。ここでは、被計測対象物4の位置にはそれほど大きなバラツキが無く、図示された近辺にPstart, Pendが形成され、これらの点を対角線とする四辺形の中に円形凹部4bが収まるという条件はワーク4が変わっても崩れないものとする。

【0047】走査は上記四辺形領域の中で、縦ピッチ α を $\alpha = 10\alpha_0$ 、横ピッチ β を $\beta = \beta_0$ として、X軸方向の走査位置を β_0 づつづらせながらY軸方向のピッチ $10\alpha_0$ 毎に輝点を一旦停止させることを繰り返す疎モード走査に、縦ピッチ α について $\alpha = \alpha_0$ のピッチでY軸方向に走査を行なう密モード走査を組み合わせたものとする。

【0048】密モードは、図中50, 60, 70で例示したような外形の特徴部（奥行き方向に位置変化を生じる変化部分）の近傍について、疎モードの1ピッチ分（ $10\alpha_0$ ）だけ走査位置を後戻りさせてから、再度 α_0 刻みでY軸方向に走査位置を変えていく局所繰り返し走査を行なうものである。このような密走査モードによる繰り返し走査を行なうべき特徴部の特定は、疎モード走査実行中にPSD6の出力の1次微分及び2次微分を繰り返しチェックすることによって行なわれる（図3関連説明及び後述する処理フローチャートを参照）。そして、この密走査モード時には、作用の説明の欄で述べた3次元位置計測原理に基づいて、当該特徴部の3次元位置データが取得される。

【0049】図7は、1例として符号50及び60で示した特徴部分領域の近傍における繰り返し走査経路を拡大描示したものである。これを簡単に説明すると、図中下方からスポット光ビームは疎走査モード状態にあり、先ずA点に輝点を形成し、PSD6の出力を得た上でピッチ $\alpha = 10\alpha_0$ でB点に移動し、B点についてPSD6の出力を得る。AB間に縁部は存在しないから、スポット光ビームは再びピッチ $\alpha = 10\alpha_0$ でC点に移動して輝点を形成し、C点についてPSD6の出力を得る。

【0050】今度は、作用の説明の欄で述べた原理により、点Bと点Cの間に縁部4cが存在していることが検出される（ここでは、輝点形成位置に大きな跳躍は無いため2次微分ピークで検出）。すると、スポット光ビームは、B点に戻り、ピッチ $\alpha = \alpha_0$ の密モード走査を開始する（局所繰り返し走査）。B7とB8の間では、PSD6の出力の1次／2次微分信号から再度縁部4cが検出されると共に、その3次元位置が計算される。すると、再度疎モードに復帰して、走査スポット光ビームは点B8から $10\alpha_0$ 離れた点Dに移動する。ところが、B8-D点間には、縁部4dが存在しているので、D点の次は再びB8点に戻り、ピッチ $\alpha = \alpha_0$ として密モード走査を再度開始する。C4とC5の間でPSD6の出力の1次／2次微分から縁部4dが検出されると共に、そ

の3次元位置が計算される。そして、再び疎走査モードに復帰して、スポット光ビームは点C5から $10\alpha_0$ 離れたE点へ移動する。

【0051】結局、領域50, 60近辺における走査経路は、A→B→C→B→B1→B2→B3→B4→B5→B6→B7→B8→D→B8→B9→C→C1→C2→C3→C4→C5→Eとなる。

【0052】以上、スポット光ビームGの走査の概要について説明したので、以下、図5に示したシステム構成を有する3次元視覚センサを用い、被計測対象物4が有する円形凹部4bの3次元位置情報を得る為のソフトウェア処理について説明する。

【0053】ソフトウェア処理全体は、次の4つのアルゴリズムALG1～ALG4を実行するものであり、各アルゴリズムに従った処理はCPU21, 31, 41に適宜割り当てられる。ここでは、()内に付記した割当を採用する。各アルゴリズムに対応した処理は、相互に連携した形で実行される（具体的には後述）。

【0054】ALG1：投光位置決定アルゴリズム(CPU31)＝プロジェクタPRによるスポット光ビームの投光位置（偏向ミラーMX, MYの偏向角 θ_x , θ_y ）を順次決定し、上記説明した通りのスポット光ビーム走査を実行する為のアルゴリズム。下記のALG2及びALG3の処理結果を利用して、上記説明した疎／密モード走査の切換制御及び局所繰り返し走査制御の処理が含まれている。

ALG2：1次微分ピーク検出アルゴリズム(CPU41)＝スポット光ビームの投光位置の移動に応じてPSD6の位置検出出力の1次微分に相当する量をチェックして、そのピークを検出する為のアルゴリズム。

ALG3：2次微分ピーク検出アルゴリズム(CPU41)＝スポット光ビームの投光位置の移動に応じて、PSD6の位置検出出力の2次微分に相当する量をチェックして、そのピークを検出する為のアルゴリズム。

ALG4：3次元位置計算アルゴリズム(CPU41)＝プロジェクタPRによるスポット光ビームの密走査モード時に検出される円形凹部の縁部のPSD検出出力と、その時の投光位置（偏向ミラーMX, MYの偏向角 θ_x , θ_y ）を表すデータに基づいて、その円形凹部の縁部の3次元位置を計算する為のアルゴリズム。なお、ここでは、全走査によって得られた各円形凹部の縁部の3次元位置計算結果に基づいて、円形凹部4bの中心位置と姿勢を計算する処理が含まれている。

【0055】以上のアルゴリズムALG1～ALG4を実行するにあたっては、主制御装置20、プロジェクタ制御装置30及びPSD検出信号処理装置40に対し、予め次の準備がなされているものとする。

【0056】[プロジェクタ制御装置30]
1. 図6に示した走査開始位置Pstartに対応した走査開始偏向角(θ_x0 , θ_y0)の設定。

2. 縦ピッチ α 及び横ピッチ β の単位量 α_0 及び β_0 に対応する偏向角の大きさの設定。 α_0 は Y 軸方向偏向角の制御最小単位 $\Delta \theta_y$ 刻み、 β は X 軸方向偏向角の制御最小単位 $\Delta \theta_x$ 刻みで各々設定される。例えば、 $\Delta \theta_x = \Delta \theta_y = 0.1^\circ$ として、 $\alpha_0 = 0.1^\circ$ 、 $\beta_0 = 2.0^\circ$ の如く設定する。これらの値の大きさは、ワーク 4 の大きさ、要求される計測精度、計測時間等に応じて定めることが好ましい。

3. 疎走査モードと密走査モードにおける縦方向ピッチ α の大きさを表わす指標となるレジスタ領域の設定。レジスタ値 γ は $\gamma = \alpha / \alpha_0$ とする。従って、ここでは、疎走査モード時には $\gamma = 10$ であり、密走査モード時には $\gamma = 1$ となる。なお、疎密ピッチ比を 10 : 1 以外の値とする場合には、疎走査モード時の γ の値を所望の疎密比に対応した別の値とすれば良い。

【0057】4. 投光位置（偏向角度 θ_x , θ_y ）を表わす基本指標値を与えるカウンタレジスタ領域（以下、「カウンタ」と言う。）を RAM 内に設定する。カウンタは、Y 軸方向の投射位置移動量 α_0 每に 1 を計数する縦方向カウンタ（カウント値を i で表わす。）と、X 軸方向の投射位置移動量 β_0 每に 1 を計数する横方向カウンタ（カウント値を j で表わす。）を設定する。疎走査モード ($\alpha = 10 \alpha_0$) では投射位置の移動に従って、カウント値 i は 10 ブツ計数され、密走査モード ($\alpha = \alpha_0$) では 1 ブツ計数される。

【0058】5. 図 6 に示した走査範囲に対応した i 及び j の上限値 i_{max} , j_{max} の設定。計数値 i が上限値 i_{max} に達すると、 $j < j_{max}$ である限り、 i は $i = 0$ にリセットされる。 $i = i_{max}$ で $j = j_{max}$ の状態は、走査経路の終点 P_end (図 6) を表わしている。

【0059】6. 図 8 のフローチャートに示した ALG 1 (投光位置決定アルゴリズム) に従った処理を実行するプログラムのローディング。

【0060】 [検出信号処理装置 4]

1. PSD 6 の検出出力の 1 次微分相当量を計算／チェックする為に使用される指標となる計数值 t を生成するカウンタの設定。

【0061】2. PSD 6 の検出出力の 2 次微分相当量を計算／チェックする為に使用される指標となる計数值 t' を生成するカウンタの設定。

【0062】3. 相前後する投光位置における PSD 6 の検出出力値に基づいて 1 次微分ピークを検出する為のしきい値 Peak 1 及び 2 次微分ピークを検出する為のしきい値 Peak 2 の設定。

【0063】4. 図 9 のフローチャートに示した ALG 2 (1 次微分ピーク検出アルゴリズム) に従った処理を実行するプログラムのローディング。

【0064】5. 図 10 のフローチャートに示した ALG 3 (2 次微分ピーク検出アルゴリズム) に従った処理を実行するプログラムのローディング。

【主制御装置 2】

1. 上記偏向開始角度 θ_{x0} , θ_{y0} 及び (i, j) で指定される各投射位置 ($i = 0, 1, 2, \dots, i_{max}$; $j = 0, 1, 2, \dots, j_{max}$) について、前記作用の説明の欄で述べた PSD 6 のイメージプレーン上における各対応点 (投光スポット光ビームとイメージプレーンの交点) H (i, j) の 3 次元位置 $< h(i, j) >$ を表わすテーブルデータの入力。

10 2. (i, j) で指定された状態におけるスポット光ビームの方向に一致する方向を向いた単位ベクトル $< g(i, j) >$ のデータ、即ち、XYZ 成分テーブルデータ $g(i, j)_x$, $g(i, j)_y$, $g(i, j)_z$ の入力。

3. (i, j) で指定された各状態下において、PSD 6 の検出出力とイメージプレート上の対応点 H (i, j) からワーク 4 への入射点 P へ向かうベクトル $< \Delta r(i, j) >$ の向きと長さを表わすデータ (正負の数値からなるテーブルデータ) の入力。

【0065】4. 図 11 のフローチャートに示した ALG 4 (3 次元位置計算アルゴリズム) に従った処理を実行するプログラムのローディング。

【0066】以上の準備の下に、ワーク 4 に対する 3 次元計測の処理を開始する。以下、図 8～図 11 を並列的に参照し、各アルゴリズム ALG 1～ALG 4 の処理内容をスポット光走査型 3 次元視覚センサの動作順序に即して説明する。

【0067】先ず、主制御装置 2 が外部信号 (例えば、ワーク 4 の計測位置への到着を知らせる外部信号、図示省略) を受信すると、ALG 1～ALG 4 の処理が 30 ほぼ同時に開始される。処理開始時の各カウンタの設定状態は図中に付記した通りである。ALG 1～ALG 3 は、直ちに ALG 4 のステップ S4-1 からの投光指令を受信する態勢に入る (ステップ S1-1, S2-1, S3-1)。

【0068】ALG 4 のステップ S4-1 で投光指令が出力されると、ALG 1 では、 (i, j) で指定された方向へスポット光ビームを投射する (ステップ S1-2)。初回は $i = j = 1$ であり、プロジェクタ制御装置 3 0 に設定された走査開始偏向角 (θ_{x0}, θ_{y0}) に対応した方向にスポット光ビームが投射され、図 6 の P_start で示した位置に入射する。

【0069】ALG 2 及び ALG 3 では、ステップ S2-2, S3-2 でその時点におけるスポット光ビーム入射点 (初回は P_start) に関する PSD 検出出力を取り込む。これを ALG 2 では p_1 と記し、ALG 3 では p'_1 と記すことにする。次いで、カウンタ値 t, t' について 1 あるいは 2 を越えたか否かがチェックされる (ステップ S2-3, S3-3)。

【0070】初回は、 $t = t' = 1$ であるから、ステップ S2-1, ステップ S3-1 へ進み、ALG 1 のステップ

S1-3 (ピーク信号受信) ヘピーク検出信号 (NO) を送信し、カウンタ t 及び t' に 1 加算し (ステップ S2-1, S3-12) 、走査終了信号 (NO) の受信を確認した上で (ステップ S2-13, S2-14, S3-13, S3-14) 、ステップ S2-1 及び S3-1 へ戻り、次 (2回目) の投光指令を待つ。

【0071】ピーク検出信号 (NO) をステップ S1-3 で受けた ALG 1 では、ステップ S1-4 からステップ S1-10 へ進み、位置計算信号 (NO) を出力して ALG 4 のステップ S4-2 (位置計算信号受信) へ送信する。そして、ステップ S1-11 でカウンタ i に縦走査のピッチを表わす指標 γ (初回は疎走査に対応する $\gamma = 10$) を加算し、 i が上限値 i_{max} を越えていないことを確認した上で (ステップ S1-13) 、イニシャライズ信号 (NO) を ALG 2 のステップ S2-9 及び ALG 3 のステップ S3-9 へ送信する (ステップ S1-15)。このイニシャライズ信号 (Y/N) は、カウンタ値 t あるいは t' を 1 にリセットすることの有無を表わす信号である。

【0072】ALG 1 では、ステップ S1-15 のイニシャライズ信号 (NO) の送信に引き続いで、走査終了信号 (NO) を ALG 2, 3, 4 の各ステップ S2-13, S3-13, S4-7 へ送信する。この走査終了信号は、図 6において、投光位置が P_{end} に到達したことの有無 (YES/NO) を表わす信号である。

【0073】さて、ALG 1 のステップ S1-10 から位置計算信号 (NO) をステップ S4-2 で受信した ALG 4 では、ステップ S4-3 からステップ S4-7 へ進み、ALG 1 ステップ S1-21 からの走査終了信号 (NO) の受信を確認した上で (ステップ S4-8) ステップ S4-1 へ戻り、次の投光指令を出力する。

【0074】2回目の投光指令が出されると、ALG 1 では (i, j) で指定された方向へスポット光ビームを投射するが (ステップ S1-2) 、今度は $i = 11, j = 1$ であるから、偏向角は ($\theta_{x0} + 10\alpha_0, \theta_{y0}$) に対応した方向にスポット光ビームが投射される (図 6 参照)。

【0075】ALG 2 では、ステップ S2-2 でスポット光ビーム入射点 (P_{start} の次の投光点; 図 6 参照) に関する PSD 検出出力 p_2 を取り込み、カウンタ値 t について 1 を越えたか否かがチェックされる (ステップ S2-3)。今度は、 $t = 2$ となっているから、ステップ S2-3 からステップ S2-4 へ進み、前回の投光点について得られている PSD 検出出力との差分 $d_p = p_1 - p_{l-1}$ (ここでは $p_2 - p_1$) が計算・記憶される。

【0076】図 3 の関連説明で述べた原理によって、前回の投光点と今回の投光点との間に投光点を跳躍させるような特徴部分がなければ、 $d_p = p_1 - p_{l-1}$ が大きな値を示すことではなく、統くステップ S2-5 で NO の判断が出され、ステップ S2-8 へ進んで ALG 1 のステップ S1-3 (ピーク信号受信) ヘピーク検出信号 (NO) を

送信する。

【0077】一方、ALG 3 では、ステップ S3-2 でスポット光ビーム入射点 (P_{start} の次の投光点; 図 6 参照) に関する PSD 検出出力 p_2 を取り込み、カウンタ値 t' について 2 を越えたか否かがチェックされる (ステップ S3-3)。今度は $t' = 2$ となっているが、やはり $t' > 2$ ではないから、ステップ S3-7 へ進み、ALG 1 のステップ S1-3 (ピーク信号受信) ヘピーク検出信号 (NO) を送信し、カウンタ t' に 1 加算し (S3-1 10) 、走査終了信号 (NO) の受信を確認した上で (ステップ S3-13, S3-14) 、ステップ S3-1 へ戻り、次 (3 回目) の投光指令を待つ。

【0078】さて、ALG 2, 3 双方からピーク検出信号 (NO) をステップ S1-3 で受けた ALG 1 では、ステップ S1-4 からステップ S1-10 へ進み、位置計算信号 (NO) を出力して ALG 4 のステップ S4-2 (位置計算信号受信) へ送信する。そして、ステップ S1-11 でカウンタ i に縦走査のピッチを表わす指標 γ (疎走査に対応する $\gamma = 10$ のまま) を加算し、 i が上限値 i_{max} を越えていないことを確認した上で (ステップ S1-13) 、イニシャライズ信号 (NO) を ALG 2 のステップ S2-9 及び ALG 3 のステップ S3-9 へ送信する (ステップ S1-15)。次いで、走査終了信号 (NO) が ALG 2, 3, 4 の各ステップ S2-13, S3-13, S4-7 へ送信される。

【0079】説明を ALG 2 へ戻すと、ステップ S2-9 でイニシャライズ信号 (NO) を受信した後、ステップ S2-10 からステップ S2-12 へ進みカウンタ値 t に 1 を加算した上で、走査終了信号 (NO) の受信を確認し (ステップ S2-13, S2-14) 、ステップ S2-1 へ戻り次回の投光指令の受信を待つ。

【0080】ALG 4 のステップ S4-1 で 3 回目の投光指令が出力された場合の ALG 1 及び ALG 2 の処理は、2 回目の投光指令出力後の処理と同様なので、説明は省略する。

【0081】ALG 3 では、ALG 4 のステップ S4-1 で 3 回目の投光指令が出力されると、ステップ S3-2 でスポット光ビーム入射点 (P_{start} の次の投光点; 図 6 参照) に関する PSD 検出出力 p_3 を取り込み、カウンタ値 t' について 2 を越えたか否かがチェックされる (ステップ S3-3)。今度は、 $t = 3$ となっているから、ステップ S3-3 からステップ S3-4 へ進み、前回と前々回の投光点について得られている PSD 検出出力に基づいて $d(p) = p_1 - (2p_{l-1}) + p_{l-2}$ (ここでは $p_3 - 2p_2 + p_1$) が計算・記憶される。

【0082】図 3 の関連説明で述べた原理によって、前回の投光点と今回の投光点との間に投光点を跳躍させるような特徴部分がなければ、この $d(p)$ が大きな値を示すことなく、統くステップ S3-5 では NO の判断が出され、ステップ S3-8 へ進んで ALG 1 のステップ S1-3 (ピーク信号受信) ヘピーク検出信号 (NO) が送

信される。

【0083】図6の事例を想定した本実施例では、Pstariから $10\alpha_0$ のピッチで上方に移動する走査経路は凹部4bから外れているので、ALG2, 3いずれにおいてもピーク検出は行なわれないまま投光点は最上端に到達する。その間のALG1～ALG4の処理(3回目の投光指令以降)は、上記説明したプロセスの繰り返しとなることは特に説明を要しないであろう。

【0084】走査経路の最上端への投光指令出力(ステップS4-1)があつて開始される処理サイクルにおけるALG1のステップS1-13では、それまでとは異なり、YESの判断がなされ、先ず、ステップS1-16でイニシャライズ信号(YES)がALG2, 3の各ステップS2-9, ステップS3-9へ送信される。次いで、縦カウンタ値iを0にリセットすると共に横カウンタ値jに1を加算(ここではj=2)する(ステップS1-17)。

【0085】更に、横カウンタ値が上限値に達していないことを確認した上で(ステップS1-18)、走査終了信号(NO)をALG2～ALG4の各ステップS2-13, S3-13, S4-7に送信し(ステップS1-20)、ステップS1-1へ戻って、次の投光指令を待つ。

【0086】ステップS1-16からイニシャライズ信号(YES)がALG2のステップS2-9へ初めて送信されると、ALG2では、それまでとは異なり、ステップS2-10からステップS2-11へ進み、カウンタ値tを1にリセットする処理を経由してステップS2-13へ進む。次いで、走査終了信号(NO)の受信を確認した上で(ステップS2-14)、ステップS2-1を復帰して次の投光指令を待つことは、既に説明したプロセスと変わりがない。

【0087】ステップS1-16からイニシャライズ信号(YES)がALG3のステップS3-9へ初めて送信された際の処理は、ALG2の場合と同様である。即ち、ALG3では、ステップS3-10からステップS3-11へ進み、カウンタ値t'を1にリセットする処理を経由してステップS3-13へ進む。次いで、走査終了信号(NO)の受信を確認した上で(ステップS3-14)、ステップS3-1を復帰して次の投光指令を待つことになる。

【0088】ここまで説明から判るように、投光位置がワーク4の円形凹部4bの縁部4cにかからない範囲では、ALG2のステップS2-5, ALG3のステップS3-5いずれにおいてもYESの判断がなされることなく、従って、ALG3のステップS1-3にピーク(YES)信号が出力されることが無い。その結果ALG1のステップS1-8が実行されず、位置計算信号(YES)が出力されない。これによって、重要でない特徴部分以外の点について3次元位置を計算する無駄が省かれ、全体の計測時間が短縮される。

【0089】次に、図7を参照図に加え、疎・密走査モードの切換・繰り返し走査制御及び特徴部分の3次元位置データの取得が実行されるワーク4の円形凹部4bの

縁部4c部分におけるALG1～4の処理について説明する。

【0090】ここでは、図7に示したA点から投光位置が $10\alpha_0$ 上方に移動されてB点に投光が行なわれ、更に、それに引き続く一連の処理が終了した時点から説明を始めることにする。

【0091】ALG4のステップS4-1で新たな投光指令が出力されると、この時点では $\gamma = 10$ の状態が維持されていることから、ALG1のステップS1-2では、図7におけるC点へスポット光ビームGが投射される。ALG2及びALG3では、ステップS2-2, S3-2でC点に関するPSD検出出力を取り込む。これをpcで表わす(以下、図7の他の点についても同様の表記とする)。

【0092】次いで、カウンタ値t, t'について1あるいは2を越えたか否かがチェックされる(ステップS2-3, S3-3)が、ここでは図示された位置関係から、 $t > 1, t' > 2$ である。

【0093】従って、ALG2では、ステップS2-3からステップS2-4へ進み、前回の投光点Bについて得られているPSD検出出力pbとの差分 $d_p = p_c - p_b$ が計算・記憶される。

【0094】前回の投光点Bと今回の投光点Cとの間には、縁部4cが存在するので、この d_p の値は他の非特徴部分よりは大きくなるが、しきい値Peak1は投光点が奥行き方向に大きく跳躍したことを検出するよう設定されている限り、ステップS2-5でYESの判断は出されない。そこで、ステップS2-5以後の処理は非特徴部分の場合と同じく、ステップS2-8へ進んでALG3のステップS1-3(ピーク信号受信)へピーク検出信号(NO)を送信する。

【0095】一方、ALG3では、ステップS3-3からステップS3-4へ進み、前々回の投光点A、前回の投光点Bについて得られているPSD検出出力pa, pbと投光点CについてのPSD検出出力pcに基づき $d_p = p_c - 2p_b + p_a$ が計算・記憶される。

【0096】前回の投光点Bと今回の投光点Cとの間には、縁部4cが存在するので、この d_p の値は他の非特徴部分より大きくなる。そして、Peak2は、投光点の奥行き方向位置そのものは大きく変化しなくとも、奥行き方向位置の変化率が跳躍したことを検出(2次微分ピークの検出)する為に設定されているしきい値であるから、図7の縁部4cをまたいで投光点が移動した際には、ステップS3-5の判断はYESとなる。

【0097】従って、ステップS3-5以後の処理は非特徴部分の場合とは異なり、ステップS3-6へ進んでALG1のステップS1-3(ピーク信号受信)へピーク検出信号(YES)を送信する。すると、ALG1では、ステップS1-3からステップS1-4, S1-5を経てステップS1-7へ進み、縦ピッチ指標 γ の値が疎走査モードを表

わす $\gamma = 10$ から密走査モードを表わす $\gamma = 1$ に変更される。

【 0 0 9 8 】 そして、次のステップ S1-9 で位置計算信号 (NO) を ALG 4 のステップ S4-2 へ送信した上で、縦カウント値 i を 10 減じ (ステップ S1-12) 、イニシャライズ信号 (YES) を ALG 2, 3 の各ステップ S2-9, S3-9 へ送信する (ステップ S1-14) 。更に、ステップ S1-21 では走査終了信号 (NO) が ALG 2 ~ ALG 4 の各ステップ S2-13, S3-13, S4-7 へ送信され、ステップ S1-1 へ戻って次回の投光指令を待つ。

【 0 0 9 9 】 ステップ S1-14 のイニシャライズ信号 (YES) を受けた ALG 2, 3 の各ステップ S2-9, S3-9 では、ステップ S2-10, ステップ S3-10 からステップ S2-11, ステップ S3-11 へ各々進んで、カウンタ値 t 及び t' を 1 にリセットし、走査終了信号 (NO) の受信を確認した上で (ステップ S2-13 → S2-14, ステップ S3-13 → S3-14) 、ステップ S2-1 あるいはステップ S3-1 へ戻って次の投光指令を待つ。

【 0 1 0 0 】 この状態でステップ S4-1 の投光指令が出力されると、縦カウント値 i が 10 減ぜられている故に、ALG 1 のステップ S1-2 では、図 7 における B 点へスポット光ビーム G が再度投射される。ALG 2 及び ALG 3 では、ステップ S2-2, S3-2 で B 点に関する PSD 検出出力 p_{b1} を取り込む。

【 0 1 0 1 】 次いで、カウンタ値 t, t' について 1 あるいは 2 を越えたか否かがチェックされるが (ステップ S2-3, S3-3) 、ここでは t, t' が 1 にリセットされている。よって、ALG 2 ではステップ S2-7 へ進んでピーク信号 (NO) を ALG 1 のステップ S1-3 へ出力し、更に、ステップ S2-12 でカウント値 t を 1 アップし、走査終了信号 (NO) の受信を確認した上で (ステップ S2-13, S2-14) 、ステップ S2-1 へ戻り次回の投光指令を待つ。ALG 3 でも同様に、ステップ S3-7 → S3-12 → S3-13 → S3-14 を経て、ステップ S3-1 へ戻り次の投光指令を待つ。

【 0 1 0 2 】 ALG 1 では、更に、ステップ S1-3 → S1-4 → S1-10 の処理を経て、S1-11 へ進み、縦カウント値 i に γ が加算される。今度は、 $\gamma = 1$ に変更されているから、密走査のピッチに対応して $i = i + 1$ とされる。

【 0 1 0 3 】 ALG 4 のステップ S4-2 では、ALG 1 の S1-10 からピーク信号 (NO) を受信し、ステップ S4-3 → S4-7 → S4-8 を経てステップ S4-1 へ戻る処理が順次実行される。次いで、ステップ S4-1 で再び投光指令が出力されると、ALG 1 では (i, j) で指定された方向へスポット光ビームを投射するが (ステップ S1-2) 、今回の投光点は図 7 の C 点ではなく、B1 点となる。

【 0 1 0 4 】 ALG 2 では、ステップ S2-2 で点 B1 に関する PSD 検出出力 p_{b1} を取り込み、カウンタ値 t が

1 を越えたか否かがチェックされる (ステップ S2-3)) 。今度は、t = 2 となっているから、ステップ S2-3 からステップ S2-4 へ進み、前回の投光点について得られている PSD 検出出力との差分 d_p = p_b - p_{b1} が計算・記憶される。

【 0 1 0 5 】 点 B B1 間には投光点を跳躍させるような特徴部分は無いから、続くステップ S2-5 で NO の判断が出され、ステップ S2-8 へ進んで ALG 1 のステップ S1-3 (ピーク信号受信) へピーク検出信号 (NO) を送信する。

【 0 1 0 6 】 一方、ALG 3 でも同様に点 B1 の PSD 検出出力 p_{b1} を取り込み、カウンタ値 t' について 2 を越えたか否かがチェックされる (ステップ S3-3)) 。今度は t' = 2 となっているが、やはり t' > 2 ではないから、ステップ S3-7 へ進み、ALG 1 のステップ S1-3 (ピーク信号受信) へピーク検出信号 (NO) を送信し、カウンタ t' に 1 加算し (S3-12) 、走査終了信号 (NO) の受信を確認した上で (ステップ S3-13, S3-14) 、ステップ S3-1 へ戻り、次の投光指令を待つ。

【 0 1 0 7 】 さて、ALG 2, 3 双方からピーク検出信号 (NO) をステップ S1-3 で受けた ALG 1 では、ステップ S1-4 からステップ S1-10 へ進み、位置計算信号 (NO) を出力して ALG 4 のステップ S4-2 (位置計算信号受信) へ送信する。そして、ステップ S1-11 でカウンタ i に縦走査のピッチを表わす指標 γ (密走査に対応する $\gamma = 1$) を加算し、i が上限値 i_{max} を越えていないことを確認した上で (ステップ S1-13) 、イニシャライズ信号 (NO) を ALG 2 のステップ S2-9 及び ALG 3 のステップ S3-9 へ送信する (ステップ S1-15)) 。次いで、走査終了信号 (NO) が ALG 2, 3, 4 の各ステップ S2-13, S3-13, S4-7 へ送信される。

【 0 1 0 8 】 ALG 2 では、ステップ S2-9 でイニシャライズ信号 (NO) を受信した後、ステップ S2-10 からステップ S2-12 へ進みカウンタ値 t に 1 を加算した上で、走査終了信号 (NO) の受信を確認し (ステップ S2-13, S2-14) 、ステップ S2-1 へ戻り次回の投光指令の受信を待つ。

【 0 1 0 9 】 ALG 4 のステップ S4-1 で次回の投光指令が出力された場合の処理サイクルは、投光点が B2 となり、ALG 3 における処理経路がステップ S3-1 → S3-2 → S3-3 → S3-4 → S3-5 → S3-8 となる点を除けば、前回と同様であるから詳細な説明は省略する。

【 0 1 1 0 】 以下、同様の処理サイクルを繰り返して投光点が B8 となると、点 B7 B8 間の奥行き方向位置が変化し、ALG 3 のステップ S3-5 で YES の判断がなされて、これに続くステップ S3-6 でピーク信号 (YES) が ALG 1 のステップ S1-3 へ出力される。これを受けた ALG 1 では、ステップ S1-4 からステップ S1-5 へ進む。今度は、 $\gamma = 1$ であるから、ステップ S1-6 へ進んで γ を疎モードに対応した $\gamma = 10$ に復帰させ

る。

【0111】次いで、ステップS1-8で初めて位置計算信号(YES)をALG4のステップS4-2へ出力し、以下、ステップS1-11で $i = i + \tau (= 10)$ として、ステップS1-13を経てステップS1-15へ進み、イニシャライズ信号(NO)をALG2, 3の各ステップS2-9, S3-9を送信する。更に、続くステップS1-21では、走査終了信号(NO)をALG2~4の各ステップS2-13, S3-13, S4-7に出力した上で、ステップS1-1へ戻り、次回の投光指令を待つ。

【0112】イニシャライズ信号(NO)及び走査終了信号(NO)を受けたALG2, 3では、ステップS2-9, S3-9から、ステップS2-10→S2-12→S2-13→S2-14あるいはステップS3-10→S3-12→S3-13→S3-14を経て、ステップS2-1, S3-1へ戻って次回の投光指令を待つ(処理内容は、説明の繰り返しになるので省略)。

【0113】さて、ステップS1-8から初めて位置計算信号(YES)を受けるALG4では、ステップS4-3から初めてステップS4-4へ進み、位置B8に投光されているスポット光ビームGの方向を表わす、縦横カウント値(i, j)に対応した単位ベクトルデータ<g(i, j)>とイメージプレーン上の対応点の位置データ<h(i, j)>を読み込む。

【0114】そして、更にステップS4-5でB8点に関するPSD6の検出出力pb6を取り込み、これらのデータからステップS4-6で点B8の3次元位置を計算・記憶する。3次元位置の求め方は、作用の説明の欄で述べた通りである。続くステップS4-7で走査終了信号(NO)を受信して、ステップS4-8を経てステップS4-1へ戻る。

【0115】ステップS4-1で再び投光指令が出されると、 $\tau = 10$ の状態でALG1~ALG4の処理が進行する。即ち、投光点はDへ移動し、再度ALG3で2次微分ピークが検出され、 τ が再び1に戻されると共に1から10が減ぜられ、密走査モード開始が準備される。そして、その次の投光指令によって投光点はB8へ戻り、密モード走査が開始される。前回の密走査モードの場合と同様の処理サイクルによって、点C4 C5間に円形凹部4bの内側の縁部が検出され、その3次元位置が求められる。3次元位置を求めるALG4のステップS4-4~S4-6の処理は、1の値が異なる以外は前回(B8の3次元位置)の場合と全く同じである。

【0116】点C5の3次元位置の求められると、前回同様の処理手順によって τ の値が疎走査モードに再度戻される。

【0117】スポット光ビームが円形凹部4bを縦断して再び内側縁部にさしかかると、今度は、投光点の奥行き位置自体が跳躍し(図6の符号70で示した部分を参照)、それに応じて今度はALG2のステップS2-5でYESの判断が出される。すると、領域50, 60の場

合と同様の処理サイクルにより、疎走査モードから密走査モードに切換て繰り返し走査が行なわれ、 τ 値に対応した走査経路と縁部4cの交点位置の極く近傍の3次元位置が求められる。この間の処理の詳細は、説明の繰り返しとなるので省略する。

【0118】以上説明したような処理サイクルを繰り返して投光位置がPendに到達すると、ALG1のステップS1-18で初めてYESの判断がなされ、走査終了信号(YES)がALG2, 3, 4の各ステップS2-13, S3-13, S4-7へ送信される。その結果、ALG2, 3では各ステップS2-14, S3-14を経て処理が終了される。

【0119】また、ALG4ではステップS4-8からステップS4-9へ進んで、多数(最低3点)のデータに基づいて円形凹部4bの中心位置・姿勢が計算・記憶され、処理を終了する。

【0120】なお、ここに説明した実施例はあくまで例示であり、各アルゴリズムの内容やCPU処理の割当等は適宜選択して設計し得る事項である。例えば、上記ALG1~4のすべてを主制御装置20のCPUに割当て、プロジェクタ制御装置30とPSD検出信号処理装置40の構成を簡素化しても良い。投光ビームの走査経路の形状、投光位置の間隔、粗密走査モードの種類や組合せ方、3次元位置を求める点の選択法や数などについても、スポット光ビームの投光方向を自由に選べるプロジェクタPRの特性を利用して極めて多様な計測のバリエーションが考えられることは説明するまでもない。

【0121】また、プロジェクタPRの偏向制御の方式は、2次元的なランダムスキャンが可能である限り特に制限は無く、例えば、偏向方向の制御をアナログ信号で行なうものであっても良い。

【0122】

【発明の効果】本願発明のスポット光走査型3次元視覚センサは、従来のCCDカメラなどのビデオカメラを用いた3次元視覚センサに比して、処理時間の高速化が可能であり、経済性にも優れている。また、被計測対象物の稜線部、凹部や凸部など被計測対象物の外形の特徴部分に関する3次元位置データを目的にかなった様で重点的に収集し、無駄の無い解析を行なうことが出来るから、効率的で精度の高い3次元計測が実現される。

【0123】更に、光源の発する光量を3次元計測に有用な部分に集中させて明るい輝点を形成させた条件下で計測を行うことが出来るから、従来のビデオカメラを用いた3次元視覚センサのように、被計測対象物の全体が適正な明るさとなるように照明条件を整える必要も無くなるという利点もある。

【図面の簡単な説明】

【図1】レーザ変位センサの基本的な構成と測定原理を説明する図である。

【図2】本願発明の3次元視覚センサにおける測定原理

に従って3次元計測を行なう為の基本配置を例示した図である。

【図3】被計測対象物の特徴部分(凹部の縁部)をY軸方向に沿ってスポット光ビームで走査した場合のPSDの出力変化を概念的に説明したグラフである。

【図4】本願発明の3次元視覚センサを、円形の凹部を有するワークの円形凹部中心の3次元位置計測に適用した場合の全体配置を表わした図である。

【図5】本願発明の3次元視覚センサのシステム構成の1例を示した要部ブロック図である。

【図6】本実施例における疎密／局所繰り返し走査方式の概要を説明する図である。

【図7】図6中、符号50及び60で示した特徴部分領域の近傍における繰り返し走査経路を拡大表示した図である。

【図8】ALG1(投光位置決定アルゴリズム)に従った処理内容を説明するフローチャートである。

【図9】ALG2(1次微分ピーク検出アルゴリズム)に従った処理内容を説明するフローチャートである。

【図10】ALG3(2次微分ピーク検出アルゴリズム)に従った処理内容を説明するフローチャートである。

【図11】ALG4(3次元位置計算アルゴリズム)に従った処理内容を説明するフローチャートである。

【符号の説明】

- 1 レーザ光源
- 2 X-スキャナ
- 3 Y-スキャナ

4 被計測対象物

4 a スポット光ビームの入射面

4 b 円形凹部

4 c, 4 d 円形凹部の縁部

5 PSDのレンズ(レンズ系)

6 PSD(位置検出型光検出器)

6 a PSD検出面

6 b PSD検出面上の基準位置

7 電流電圧変換回路

10 8 演算回路

10 10 モニタ光検出器

11 11 コントローラ

12 12 光源駆動回路

20 20 主制御装置

21 21 中央演算処理装置(CPU)

22 22 ROMメモリ

23 23 RAMメモリ

24 24 キーボード

25 25 入出力装置(I/O)

20 26 バス

30 30 プロジェクタ制御装置

40 40 PSD検出信号処理装置

G(Gm) スポット光ビーム

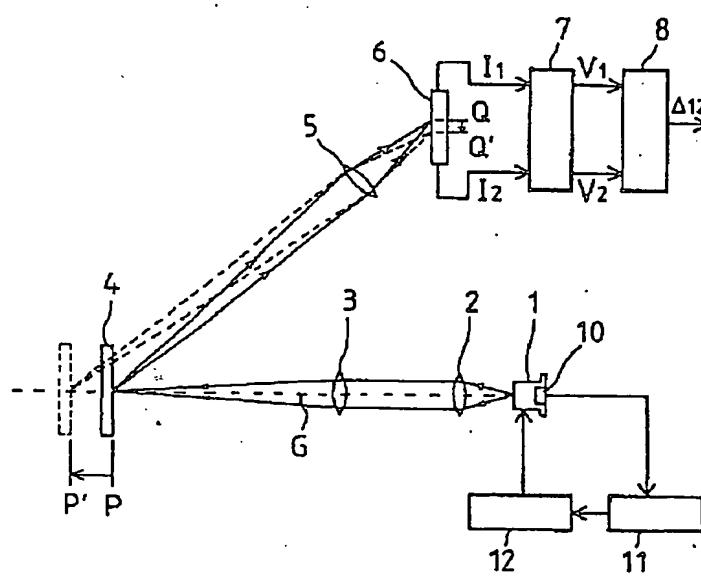
H イメージプレーン

MX X軸方向偏向ミラー

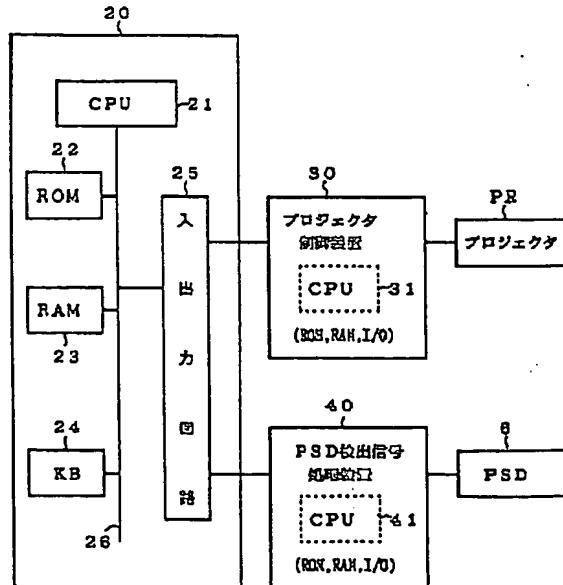
MY Y軸方向偏向ミラー

PR プロジェクタ

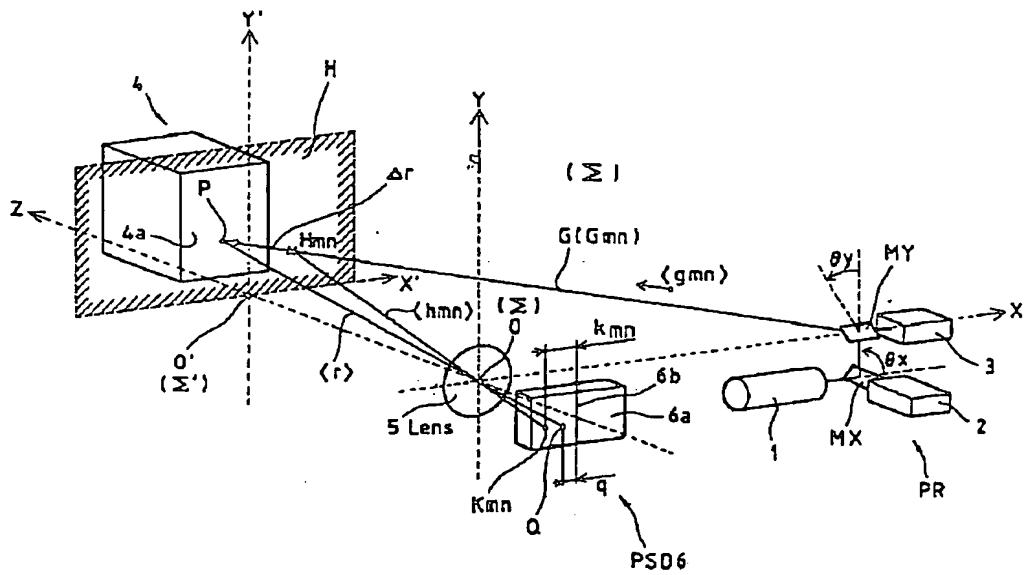
【図1】



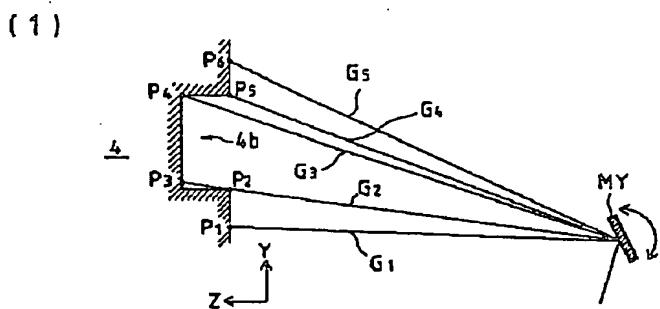
【図5】



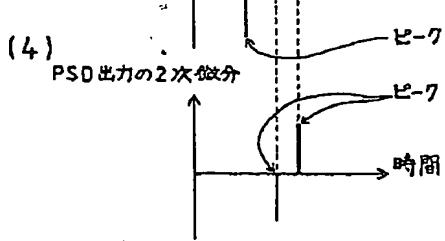
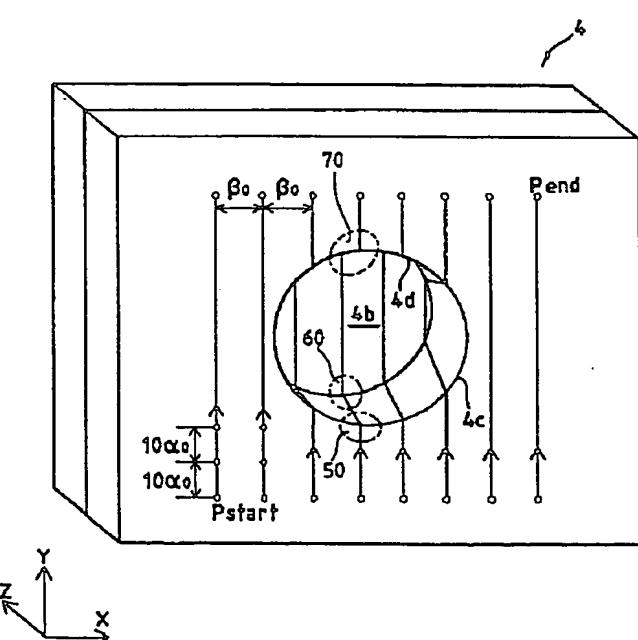
[図 2]



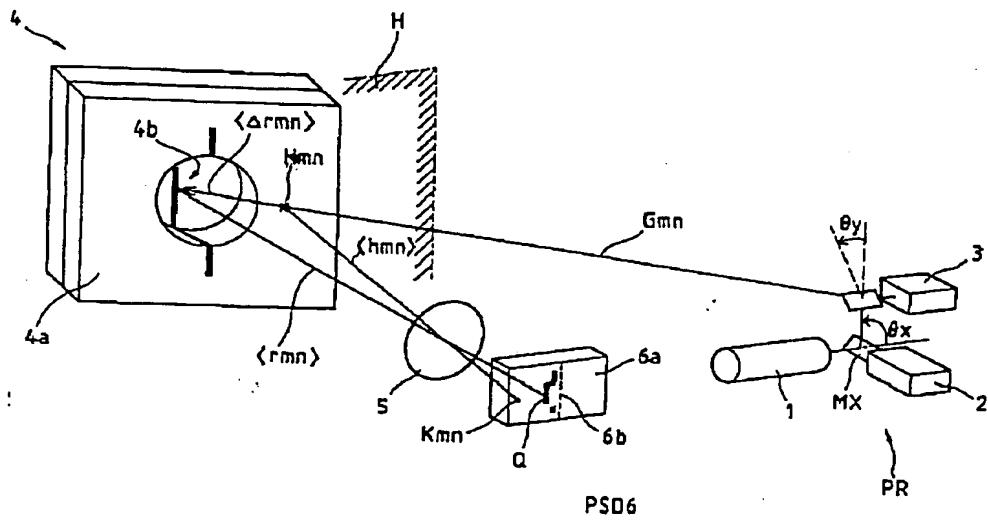
[図 3]



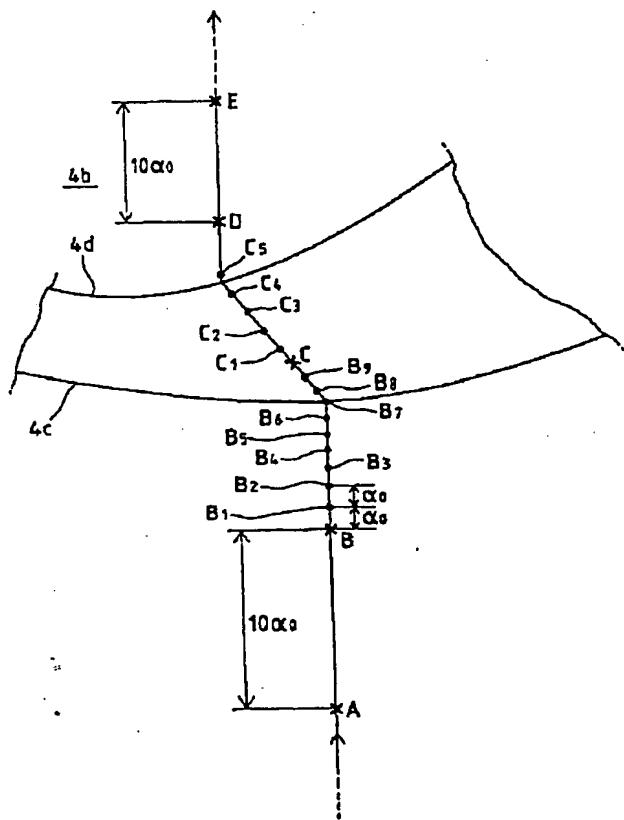
[図 6]



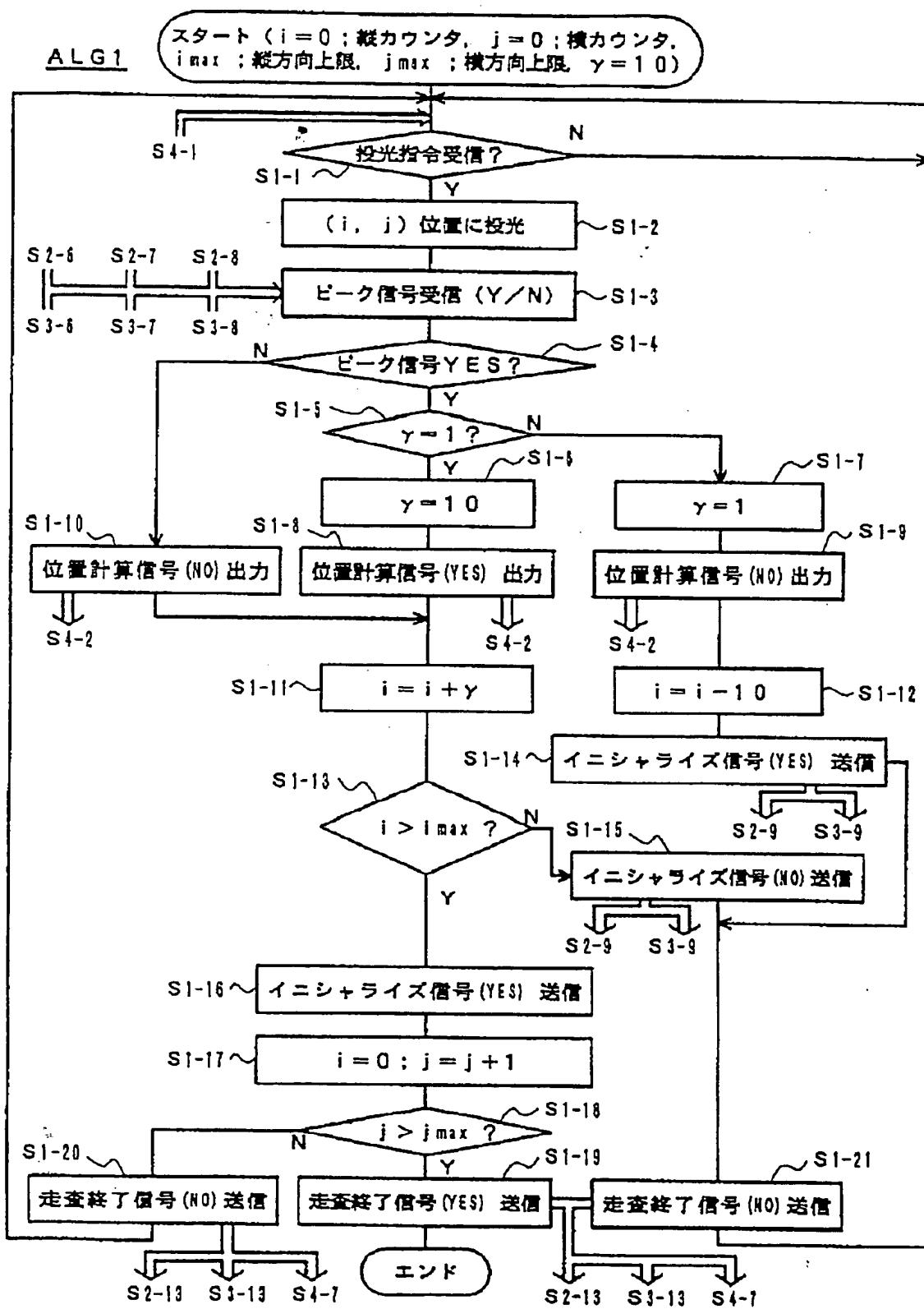
【図 4】



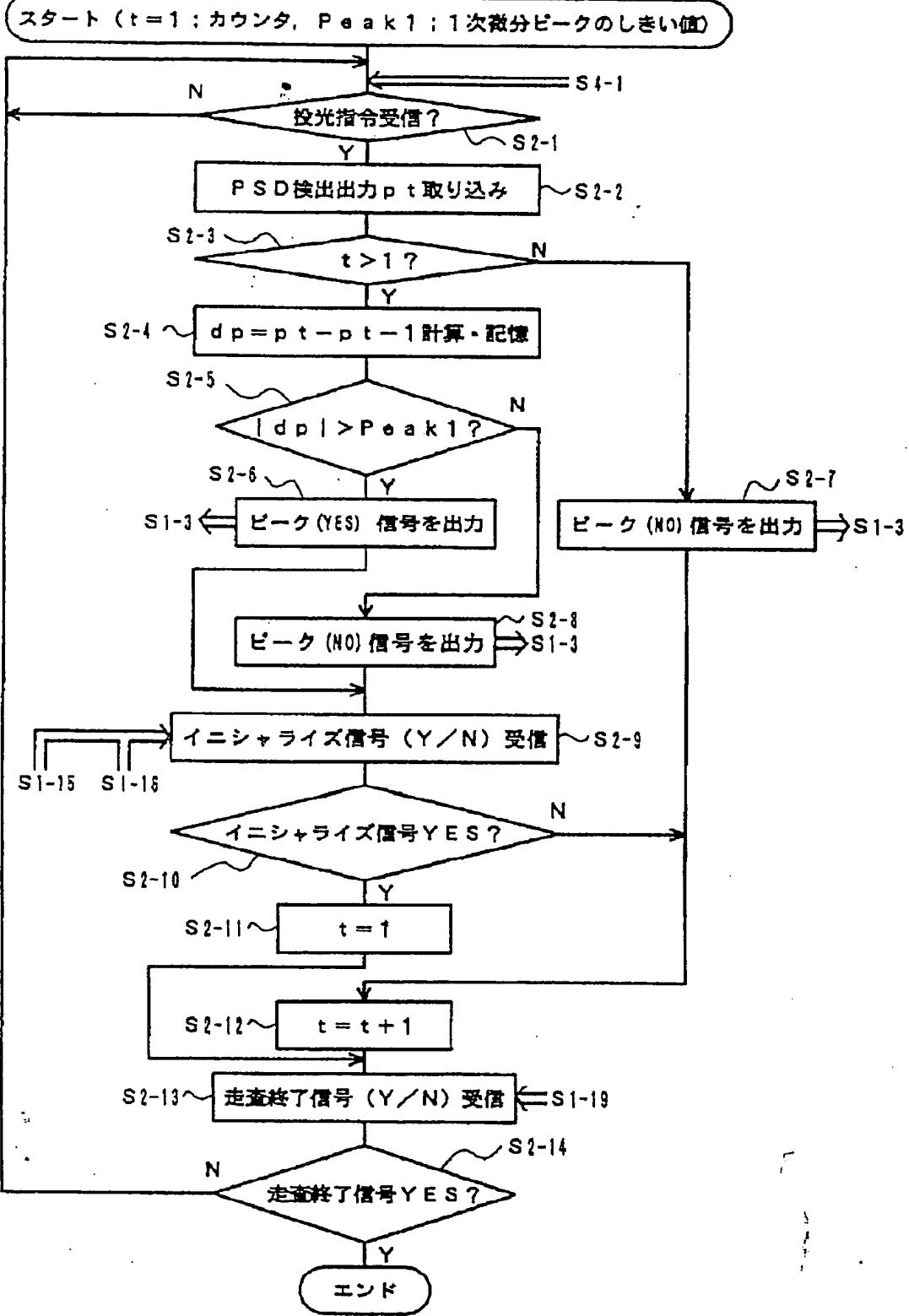
【図 7】



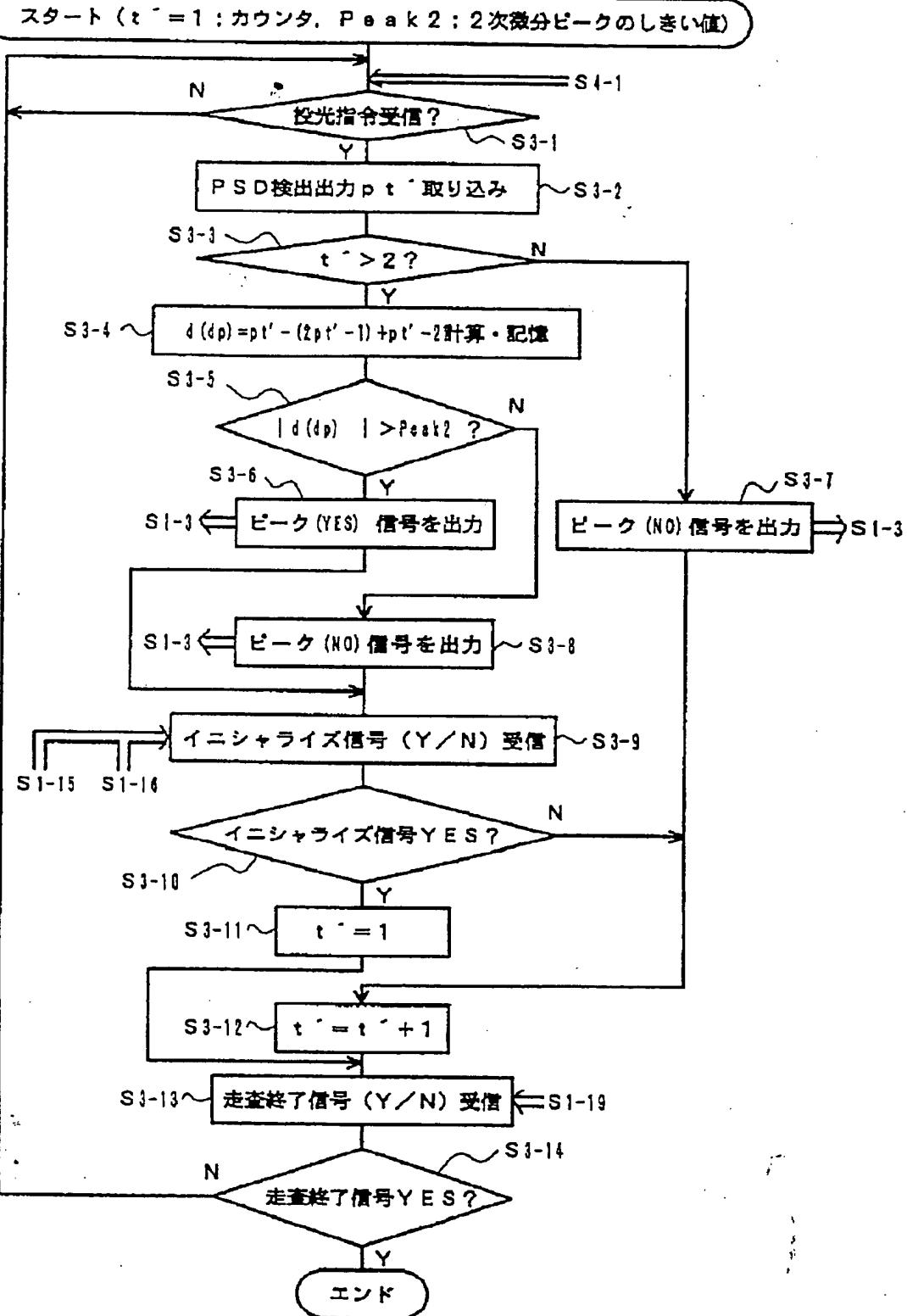
【図 8】



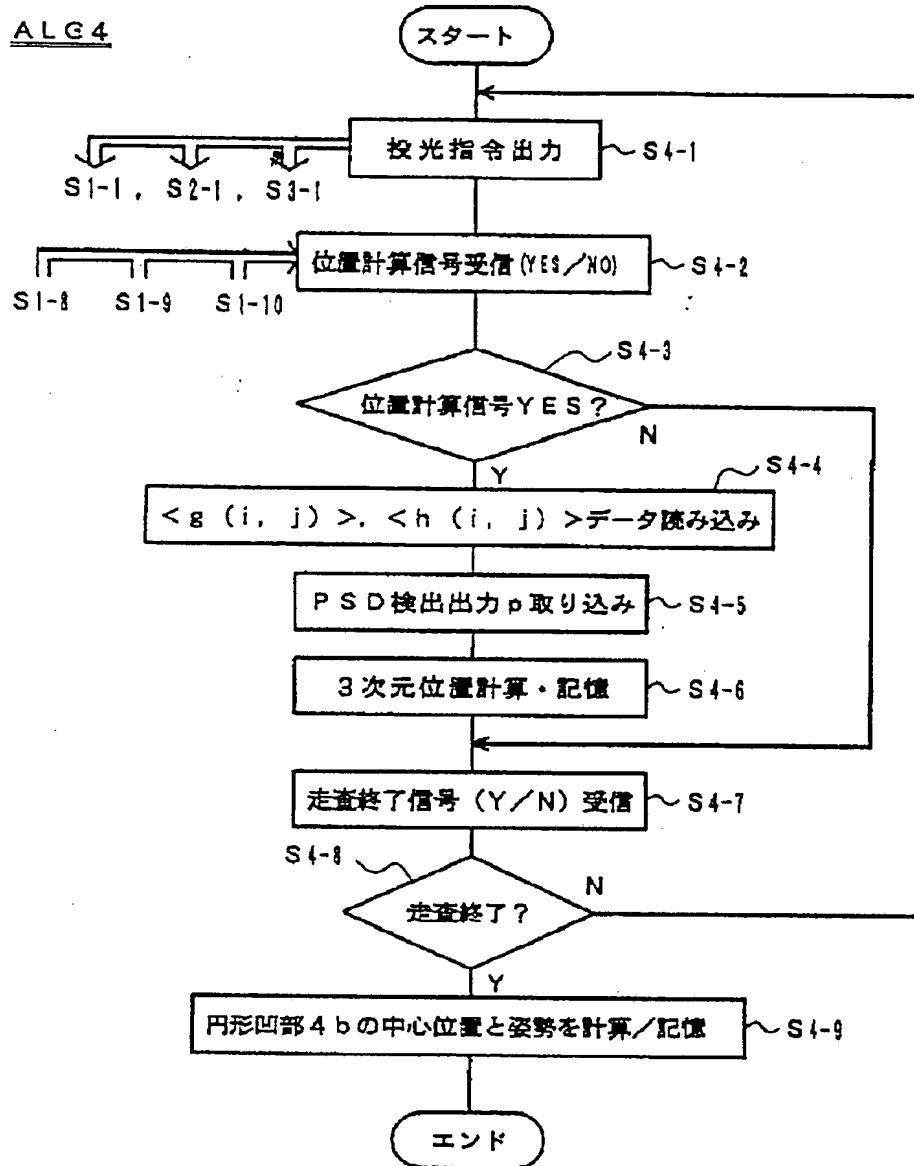
【図 9】

ALG 2

【図 10】

ALG 3

【図 1-1】



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- BLACK BORDERS**
- IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- FADED TEXT OR DRAWING**
- BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- SKEWED/SLANTED IMAGES**
- COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- GRAY SCALE DOCUMENTS**
- LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.